

## Primera etapa en la comprensión del origen de las galaxias lenticulares S0

C. G. Escudero<sup>1,2</sup>, F. R. Faifer<sup>1,2</sup>, L. P. Bassino<sup>1,2</sup>

(1) *Instituto de Astrofísica de La Plata, CCT La Plata - CONICET – UNLP, Argentina*

(2) *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina*

**Resumen.** Mediante el empleo de imágenes ópticas Gemini/GMOS, presentamos la primera caracterización fotométrica de los sistemas de cúmulos globulares (CGs) pertenecientes a las galaxias lenticulares (S0s) NGC 4546 y NGC 5838. El análisis del perfil de brillo superficial de estas galaxias muestra evidencias de interacción y/o fusiones con objetos de menor masa. Por otro lado, las distribuciones de color integrado de ambos sistemas revelan la presencia de al menos tres subpoblaciones de CGs diferentes, para las cuales hemos estimado una metalicidad media a partir de sus funciones de luminosidad. La información obtenida del estudio de los sistemas de CGs en conjunto con el análisis fotométrico de dichas galaxias, nos ha permitido ampliar el conocimiento general de las mismas.

**Abstract.** Using optical Gemini/GMOS images, we present the first photometric characterization of the globular cluster (GC) systems belonging to the lenticular galaxies (S0s) NGC 4546 and NGC 5838. The surface brightness profile of the galaxies shows evidence of interaction and/or mergers with lower-mass objects. On the other hand, the integrated colour distributions of both GC systems reveal the presence of at least three different GC subpopulations, for which we have estimated a mean metallicity through their luminosity functions. The information obtained from the study of these GC systems, in conjunction with the photometric analysis of the host galaxies, has allowed us to expand the general knowledge of them.

### 1. Introducción

Uno de los mayores desafíos que aún persiste en la astronomía actual es comprender cómo se formaron las galaxias que observamos hoy en día. Los diferentes procesos físicos que conducen a la formación y evolución de las mismas, los cuales resultan a menudo poco conocidos, constituyen un área de investigación muy importante en astronomía extragaláctica. En tal contexto, un aspecto fundamental radica en identificar aquellos factores más influyentes en la formación y evolución de las galaxias de un dado tipo morfológico. En este sentido, se ha reconocido la importancia de los cúmulos globulares (CGs) como trazadores de las primeras etapas de formación de las galaxias de tipo temprano, y como herramienta que permite obtener información sobre épocas, regiones y/o diversas propiedades observacionales que de otra forma resultan inalcanzables. El trabajo presentado aquí, se centró en la caracterización fotométrica de los sistemas

de CGs pertenecientes a galaxias lenticulares (S0s) NGC 4546 ( $d \sim 14$  Mpc) y NGC 5838 ( $d \sim 27.1$  Mpc), ubicadas en ambientes de baja o relativamente baja densidad, con el objetivo de buscar evidencias sobre la formación de las mismas.

## 2. Perfiles de brillo superficial

Estudios previos realizados sobre las galaxias mencionadas, revelan en el caso de NGC 4546, la presencia de gas ionizado rotando en la misma dirección que la enana ultra-compacta (UCD, por sus siglas en inglés) NGC 4546-UCD1 (Norris & Kannappan 2011, Bettoni et al. 1991) presente en el sistema de dicha galaxia, pero en sentido opuesto y ligeramente fuera del plano relativo al disco estelar. Por su parte, NGC 5838 muestra regiones nucleares cinemáticamente desacopladas así como anillos de polvo en su parte central (Peletier et al. 1999). En este contexto, hemos analizado las distribuciones de brillo de estas galaxias utilizando la tarea ELLIPSE de IRAF, a fin de obtener indicios y/o realizar alguna inferencia acerca de posibles interacciones y/o fusiones que podrían haber sufrido las mismas (Kormendy & Bender 1996; Li et al. 2011). Dicha tarea ajusta isofotas elípticas a las imágenes, permitiendo graficar las variaciones de los parámetros geométricos: elipticidad, ángulo de posición ( $AP$ ) y coeficientes de Fourier ( $A_3, B_3, A_4, B_4$ ), en función del radio galactocéntrico equivalente ( $\sqrt{a b}$ ). Como se observa en la Figura 1, ambas galaxias muestran hacia la región central ( $r_{eq} < 0.4$  minutos de arco) una variación significativa de la elipticidad,  $AP$  y  $B_4$ . Es interesante mencionar que de acuerdo al valor que tome el parámetro  $B_4$ , las isofotas se clasifican en tipo “disco” ( $B_4 > 0$ ) o “caja” ( $B_4 < 0$ ), siendo estas últimas generalmente indicativas de fusiones recientes (Kormendy & Bender 1996).

## 3. Distribución de colores integrados

La detección y clasificación de los candidatos a CGs en ambas galaxias fue realizada siguiendo los lineamientos de Escudero et al. (2015). A partir de la muestra final de candidatos (paneles superiores en Figura 2), cuantificamos las posibles subpoblaciones de CGs presentes en los mencionados sistemas, ajustando distribuciones Gaussianas sobre los histogramas de color  $(g' - z')_0$  en NGC 4546 y  $(g' - i')_0$  en NGC 5838, mediante el software RMIX<sup>1</sup>. Los resultados obtenidos por el algoritmo (paneles inferiores de la Figura 2) indican que una distribución de colores trimodal ofrece el mejor ajuste a los datos. Esta trimodalidad estaría indicando la presencia de, al menos, tres subpoblaciones diferentes de CGs en ambas galaxias. Además de los típicos cúmulos “azules” y “rojos”, NGC 4546 presenta un grupo de candidatos a CGs con colores intermedios ( $(g' - z')_0 \sim 1.07$  mag), mientras que en NGC 5838 se observa un tercer grupo hacia colores más rojos ( $(g' - i')_0 \sim 1.29$  mag). La presencia de múltiples subpoblaciones, proporciona otro indicio acerca de que las galaxias aquí analizadas han sufrido probablemente diversos eventos con formación estelar.

---

<sup>1</sup>RMIX se encuentra disponible públicamente en <http://ms.mcmaster.ca/peter/mix/mix.html>

*Origen de las galaxias lenticulares S0*

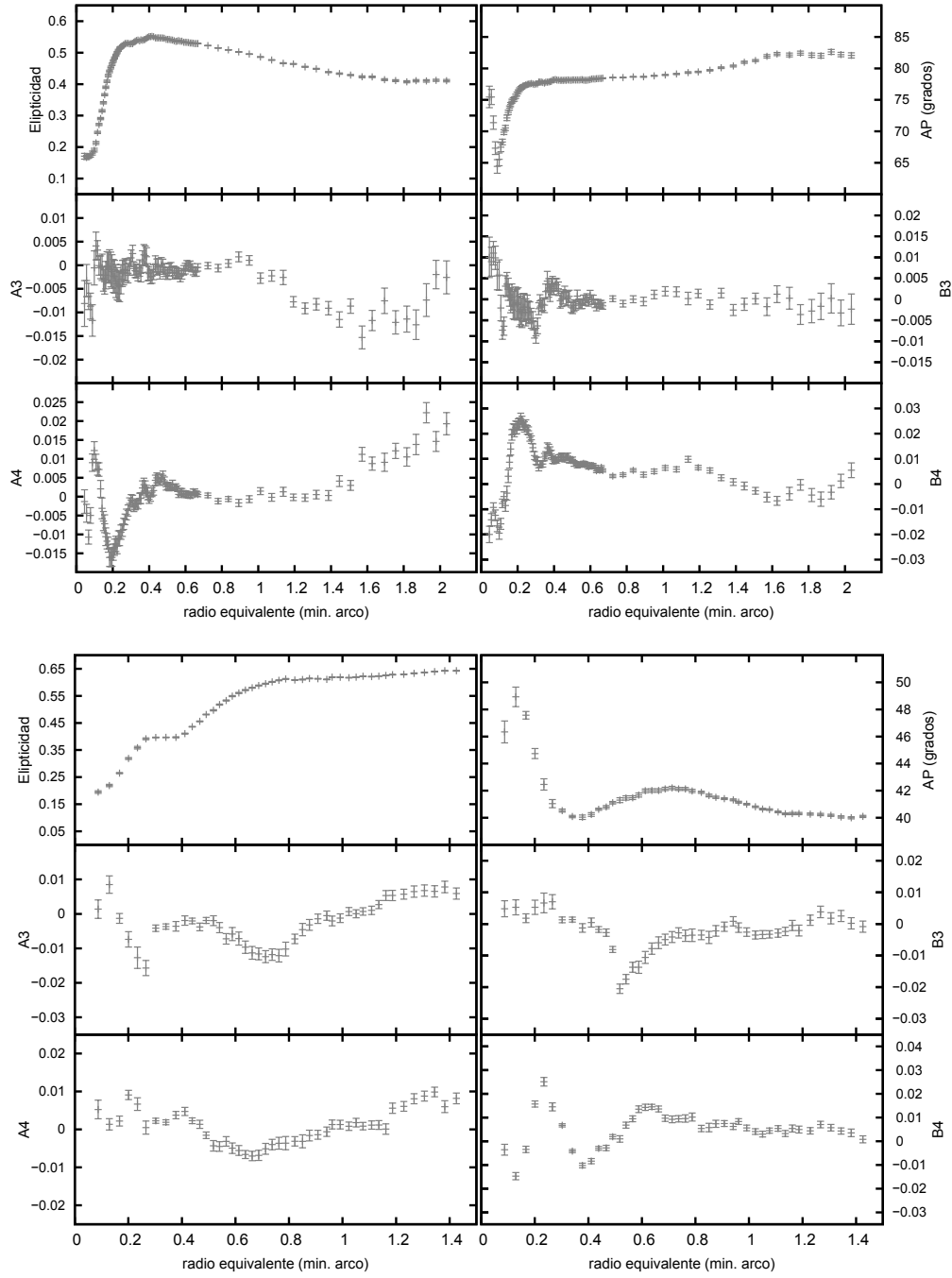


Figura 1. Parámetros isofotales en función del radio galactocéntrico equivalente para NGC 4546 (panel superior) y NGC 5838 (panel inferior).

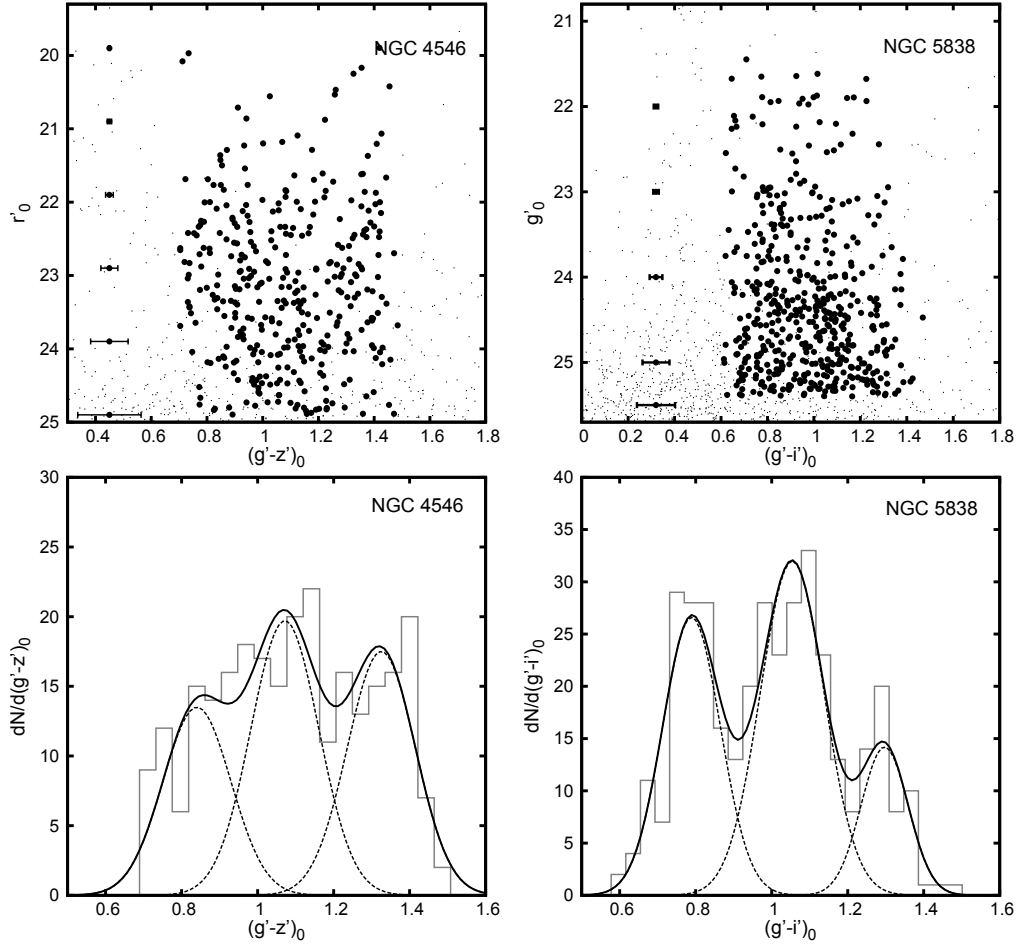


Figura 2. *Paneles superiores:* diagramas color-magnitud de los candidatos a CGs de NGC 4546 y NGC 5838 (puntos negros). *Paneles inferiores:* histogramas de color  $(g' - z')_0$  de NGC 4546 y  $(g' - i')_0$  de NGC 5838 para la muestra de CGs. Las líneas rayadas y la línea continua representan las distribuciones Gaussianas ajustadas y la suma de ellas, respectivamente.

#### 4. Estimaciones de metalicidades utilizando la FLCG

El análisis realizado sobre la distribución de colores nos permitió separar las diferentes subpoblaciones presentes en ambas galaxias, y posteriormente obtener la función de luminosidad de los CGs (FLCG) para cada una de ellas (Figura 3). Calculamos las posiciones de los *turn-over* ( $TO$ : máximo de la distribución de brillo aparente) mediante un ajuste Gaussiano, encontrando una diferencia significativa entre las magnitudes de  $TO$  de los CGs azules y rojos, siendo los primeros ligeramente más brillantes ( $TO_{\text{rojo}} - TO_{\text{azul}} \sim 0.4$  y  $0.33$  mag en NGC 4546 y NGC 5838, respectivamente). Esta diferencia la cual ha sido detectada en otros sistemas (Larsen et al. 2001, Di Criscienzo et al. 2006, Escudero et al. 2015), estaría indicando efectos de metalicidad detrás de este resultado. Ashman et al. (1995) investigaron mediante simulaciones la variación de la posición del  $TO$

en función de la metalicidad para diversas bandas fotométricas. En nuestro caso, consideramos que los CGs azules pertenecientes a las galaxias S0 estudiadas aquí resultan similares en metalicidad a los de la Vía Láctea ( $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -1.6$  dex), utilizamos la Tabla 3 de dichos autores para estimar  $[\text{Fe}/\text{H}]$  de las restantes subpoblaciones. En el caso de NGC 4546 se obtuvo una metalicidad media para los CGs rojos e intermedios de  $\sim -0.2$  dex y  $\sim -0.6$  dex. Por su parte, los valores estimados para los CGs rojos y aquellos con colores más rojos de NGC 5838, fueron de  $\sim -0.6$  dex y  $\sim -0.1$  dex, respectivamente. Es necesario mencionar que dichos resultados deberán ser confirmados mediante la obtención de datos espectroscópicos (Escudero et al., en preparación) y/o mediante una combinación de fotometría IR y óptica.

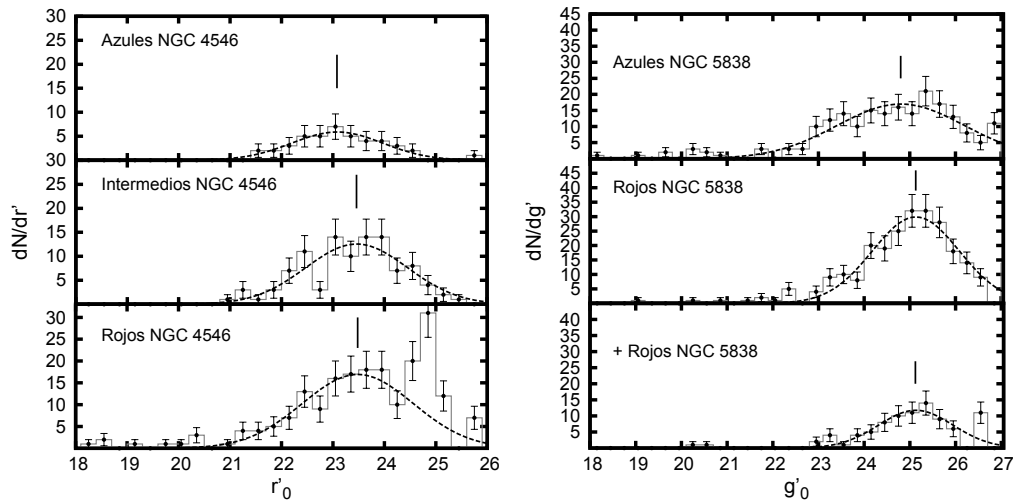


Figura 3. FLCG para las diferentes subpoblaciones de CGs de NGC 4546 (panel izquierdo) y NGC 5838 (panel derecho). Las líneas continuas verticales indican las posiciones de los *TO* obtenidos.

## 5. Conclusiones

El análisis fotométrico realizado en base a imágenes Gemini/GMOS sobre las galaxias S0 NGC 4546 y NGC 5838, revela que las mismas exhiben particularidades tanto en su distribución de brillo como en la distribución de colores integrados de sus sistemas de CGs asociados. En particular, estos últimos resultaron ser sistemas complejos, mostrando la existencia de múltiples subpoblaciones. En el caso de NGC 4546, probablemente, el proceso que dio origen a la UCD podría ser el responsable de la formación de un gran número de nuevos CGs, los cuales forman actualmente parte de la subpoblación de colores intermedios. Por su parte, la presencia de la subpoblación más roja en NGC 5838 puede constituir un grupo de cúmulos mucho más ricos en metales que los típicos “rojos”. Sin embargo, no se pueden descartar también posibles efectos de enrojecimiento interno por parte de la galaxia. En este sentido, será necesario realizar un análisis espectroscópico de su sistema de CGs, a fin de indagar acerca del posible origen de esta subpoblación.

Los resultados obtenidos en este estudio, en conjunto con los diversos trabajos encontrados en la literatura, indicarían que el origen y evolución de estas galaxias no ha sido tranquila, aún cuando las mismas se encuentren en ambientes poco densos. En este sentido, resulta evidente señalar que las interacciones y/o fusiones con objetos de menor masa han jugado un papel importante sobre ellas.

## **Referencias**

- Ashman, K.M., Conti, A., et al. 1995, AJ, 110, 1164  
Bettoni, D., Galletta, G., et al. 1991, MNRAS, 248, 544  
Di Criscienzo, M., Caputo, F., et al. 2006, MNRAS, 365, 1357  
Escudero, C.G., Faifer, F.R., et al. 2015, MNRAS, 449, 612  
Kormendy, J., & Bender, R. 1996, ApJ, 464, L119  
Larsen, S.S., Brodie, J.P., et al. 2001, AJ, 121, 2974  
Li, Z., Ho, L.C., Barth, A.J., et al. 2011, ApJS, 197, 22  
Norris, M.A., & Kannappan, S.J. 2011, MNRAS, 414, 739  
Peletier, R.F., Balcells, M., et al. 1999, MNRAS, 310, 703